سدهای خاکی

EMBANKMENT DAMS

مراجع

نام کتاب: سدهای خاکی
توضیحات: (۱۷ خرداد، ۱۳۹۳)
نام نویسنده: حسن رحیمی
ناشر: دانشگاه تهران

نام کتاب: سدهای خاکی
توضیحات: چاپ اول ۱۳۸۸
صنعتی اصفهان)
نام نویسنده: محمود وفاییان
ناشر: جهاد دانشگاهی (دانشگاه

- هدف اصلی احداث سد – علل طراحی و ساخت سد – تقسیم بندی سد ها – مشخصات یک محل مناسب برای سد – طبقه بندی سدها
- مقایسه سدهای صلب و خاکریز
- تاریخچه خرابیهای سدهای خاکی و سنگریزه ای – طبقه بندی علل خرابی ۲۰۰ سد
- پنج دسته اصلی خرابی ها
- موارد طرح ایمن سد خاکی
- روشهای احداث سدها در قرن نوزدهم
- سدهای خاکی هیدرولیکی – سدهای سنگریز – سدهای خاکی و سنگریز مدرن
- انتخاب شکل سد خاکی
- انواع معمولی سدهای پاره سنگی
- مقاطع تیپ سدهای خاکی روی پی نفوذ ناپذیر
- گونه های مختلف از دیدگاه همگنی بدنه سد نوع همگن نوع مطبق نوع دیافراگمی
- مقاطع تیپ سدهای سنگریزه ای
- مشخصات بهترین نوع خاک
- نیازهای اساسی طرح
- مسائل مربوط به سدهای خاکی: ۱- پدیده لغزش ۲- تغییر رژیم هیدرو ژئولوژی ۳- کنترل پایداری سد
- پدیده لغزش در دیواره های دریاچه سد طی اولین بار پرکردن سد
- تغییر سیستم آب زیر زمینی در بالا دست و پائین دست
- کنترل تراوش ۱- ایجاد دیواره جدا کننده یا نفوذ ناپذیر ۲- ایجاد زهکش ها ۳- ایجاد فیلترها ۴- هسته مرکزی ۵- چاههای زهکش ۶- ایجاد پوشش غیر قابل نفوذ در بالا دست
- کنترل پایداری سد
- اجرای ساختمان سد

مقدمه

- هدف اصلی احداث سد:

  مهار آبها وهدایت آن به مناطقی که کمبود آب دارند

- علل دیگر طراحی وساخت سد:

  آبیاری زمین های مزروعی

  تامین آب آشامیدنی

  تولید برق آبی

  کنترل سیلابها

  حفاظت خاک و ...

- سد می تواند از نوع مخزنی ویا انحرافی باشد

- سد مخزنی آبهای موجود در فصلهای پر آب را جهت فصلهای کم آب ذخیره می سازد
- سد انحرافی تنها سطح آب را به اندازه کافی بالا می آورد تا آب به مسیرهای مورد نظر هدایت گردد

- سدها بطور کلی به دو دسته تقسیم می شوند:

  ۱- سدهای بتنی که به صورت وزنی ویا قوسی هستند

  ۲- سدهای خاکی و سنگریزه ای

مشخصات یک محل مناسب برای سد

- مشخصه اصلی یک محل مناسب برای یک سد مخزنی داشتن شکل یک بطری برای خطوط تراز توپوگرافی محل است به نحوی که یک دره تنگ در انتهای یک مخزن وسیع قراربگیرد
- مشخصه های اقتصادی پیچیده هستند وهزینه ساخت تنها در ارتفاع انعکاس ندارند.طول سد نیز از فاکتورهای تعیین کننده دیگر است
- هیدرولوژی نیز نقش مهمی را ایفا می کند

فاکتورهای دیگر تعیین محل مناسب سد

- پی مناسب
- در دسترس بودن مصالح موردنیاز در فاصله ای مناسب از محل سد
- سرریز مناسب سد
- نشت آب از مخزن سد
- ارزش مایملکی که درزیرآب قرارمیگیرند نسبت به درآمد حاصل از احداث سد
- نحوه انحراف آب به هنگام ساختمان سد

طبقه بندی سدها

- سدها ممکن است به دو گروه زیر طبقه بندی شوند

- سدهای صلب بتنی با مصالح بنایی که ممکن است وزنی؛ قوسی ویا پایه دار باشند
- سدهای خاکی که ممکن است خاکی؛ سنگریزه ای ویا مخلوطی از این دو باشند

سدهای نوع خاکی متشکل از مصالح طبیعی

بدون ملات می‌باشند، بنابراین بدنهٔ سد به‌دلیل یکپارچه نبودن قادر به تحمل نیروهای خمشی و کششی نیست و کلیهٔ نیروها از طریق وزن بدنهٔ سد و با کمک مقاومت برشی مصالح تحمل می‌شوند. از طرف دیگر، به‌دلیل انعطاف‌پذیری قابل توجه مصالح فاقد ملات و یکپارچه نبودن بدنه، اساساً سدهای نوع خاکی را می‌توان روی هر نوع پی و در محل‌هایی که امکان ساخت سدهای بتنی وجود ندارد، احداث کرد.

به‌طور کلی، در سال‌های اخیر ساخت سدهای نوع خاکی به دلایل زیر به‌عنوان متداول‌ترین روش سدسازی در بیشتر کشورها مورد استفاده قرار گرفته است:

الف) در اغلب کشورها، بویژه کشورهای پیشرفته، بسیاری از ساختگاه‌های مناسب برای احداث سدهای بتنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و ساختگاه‌های باقیمانده از کیفیت چندان مطلوبی برخوردار نیستند و در نتیجه، عموماً فقط برای احداث سدهای نوع خاکی مناسب‌اند.

ب) هزینهٔ عملیات خاکی نسبت به هزینهٔ کارهای بتنی به میزان خیلی کمتری افزایش یافته، ازاین‌رو به لحاظ اقتصادی عموماً ساخت سدهای نوع خاکی مقرون به صرفه‌تر است. بنا به دلایل فوق، از سال ۱۹۵۵ تعداد سدهای خاکی بزرگ (بزرگتر از ۱۵ متر ارتفاع)، با نرخ تقریباً ثابت ۲۰۰ درصد در سال در سطح جهانی افزایش یافته است. به‌علاوه رشد و توسعهٔ نظریه‌های جدید

علم ژئوتکنیک و پیشرفت فن‌آوری در ساخت ماشین‌آلات و ابزار نیز موجب شده است تا علاوه بر افزایش تعداد سدهای خاکی، ابعاد فیزیکی سدهای خاکی (ارتفاع، طول تاج، حجم بدنه و ...) نیز به میزان چشمگیری افزایش ۳۰۰ متر (نورک [۱] و روگان [۲] در تاجیکستان) با استفاده از مصالح خاکی ساخته شده‌اند.

مقایسه سدهای صلب و خاکریز

- یک دره تنگ وبه شکل V با پی و دیواره های محکم و مناسب بهترین مقطع یک سد قوسی است
- یک دره با وسعت متوسط و عمق خاک رویی کم تا متوسط می تواند برای یک سد وزنی یا پایه دار مناسب باشد؛ این مقطع البته برای احداث یک سد خاکریز ویا سنگریزه ای مناسب است
- یک دره وسیع با خاک رویی عمیق معمولاً منجر به انتخاب یک سد خاکریز می گردد
- یک دره نامنظم به انتخاب سدی با مقطع مختلط می گردد

تاریخچه خرابیهای سدهای خاکی وسنگریزه ای

- شاید هیچ نوع سازه ای که توسط انسان ساخته شود به اندازه سد بزرگی که دارای دریاچه وسیع بوده و در پایین دست آن منطقه پر جمعیتی وجود دارد دارای زمینه خطر برای جان و مال افراد نباشد

- اولین بررسی که در مورد سدهای خراب شده صورت گرفت نشان داد که فقط ۲۵ سد از کل ۲۰۰ سد خراب شده مورد بررسی بیش از ۳۰ متر ارتفاع داشته اندوتنها ۲۰ سد پس از ۱۹۲۰ احداث شده بودند

طبقه بندی علل خرابی ۲۰۰ سد

- ۱- لبریز شدن ۳۰ درصد
- ۲- شسته شدن دانه های ریز ۲۵ درصد
- ۳- لغزش ۱۵ درصد
- ۴- نشت از لوله آب بر ۱۳ درصد
- ۵- خرابی در پوشش غیرقابل نفوذ بالادست ۵ درصد
- ۶- دلایل متفرقه ۷ درصد
- ۷- غیرمشخص ۵ درصد

پنج دسته اصلی خرابی ها

- ۱- خرابی کامل وناگهانی یک سد در هنگامیکه مورد استفاده قرار گرفته ومعمولاً همراه ازبین رفتن کامل سد و خسارات شدید مالی وجانی می باشد وبه صورت فاجعه ای بزرگ عنوان می شود
- ۲- خرابی واز بین رفتن سدهای کوچک که بدون استفاده از متخصصین ساخته شده دارای مفاهیم علمی ومهندسی کمتری است
- ۳- خرابی کم برروی دریچه ها؛ پایه ها و ... اتفاق می افتدو یا دارای مشخصه ظاهری عملکرد نظیر ترک خوردگی؛ نشت کردن و آب بردگی است که البته سد خراب نشده ولی به خرابی قسمتی از آن مشهور شده است
- ۴- خرابیها و اتفاقاتی که در حین ساختمان سد وقبل از تکمیل اتفاق می افتد که معمولاً اصلاح شده وسد پس از احداث بخوبی عمل کرده است
- ۵- خرابی در مورد سدهای قدیمی که درباره آن اطلاعات کمی دردسترس است

موارد طرح ایمن سد خاکی

- ۱- به هیچ وجه نبایدخطر لبریز شدن سد وجود داشته باشد
- ۲- خط تراوش باید بخوبی درداخل بدنه سد بوده با شیب پایین دست برخورد ننماید
- ۳- آبی که از داخل یا پی سد عبور می نمایدنبایدقادربه حمل مصالح باخود باشد
- ۴- نباید هیچ راهی برای عبور آزاد آب از بالادست به پایین دست سد وجودداشته باشد
- ۵- شیبهای بالادست و پایین دست باید در مقابل شرایط مختلفی که احتمال اتفاق آنها وجوددارد پایداروومقاوم باشند
- ۶- تنشهای برشی ایجاد شده درپی سد بایدکوچکترازمقاومت برشی فونداسیون بایک ضریب اطمینان مناسب باشد
- ۷- شیب بالادست باید بخوبی درمقابل امواج دریاچه سدوشیب پایین دست درمقابل بارندگی محافظت گردد

روشهای احداث سدها در قرن نوزدهم

- ۱- خاکریزی همگن بامصالح یکنواخت درکل بدنه سد
- ۲- خاکریزی دارای هسته مرکزی از مصالح طبیعی که در محل یافت می شده است یامخلوطی از شن و ماسه و رس
- ۳- خاکریز دارای هسته مرکزی از یک دیوارآجری یا بتنی
- ۴-خاکریزی که درمقابل یک سنگریز سست قرارگرفته و به آن متکی باشد
- ۵- خاکریزی که دارای مصالح غیر قابل نفوذ در بالادست باشد
- ۶- خاکریزی به روش هیدرولیکی که طی آن بوسیله جریان مخلوط آب و خاک و لوله های تحت فشار خاکریزی انجام می شود

سدهای خاکی هیدرولیکی

- حفاری های هیدرولیکی وسیع در خلیج پاسیفیک آمریکا که منجر به کشف طلا در کالیفرنیا در سال ۱۸۴۹ میلادی شد؛ گسترش سدهای خاکی هیدرولیکی را موجب گشت . این روش به سرعت بعنوان یک روش اقتصادی برای ساختن سد شناخته شد در این روش هیچگونه کنترلی برروی کوبیدن وتراکم خاک وجود ندارد .
- اگر چه خرابیهای زیادی در این گونه سدها در مراحل اولیه بخصوص درخلال یا بلافاصله پس از ساختمان سد اتفاق افتاد لیکن بسیاری از این سدها موفقیت امیز بودند و هنوز مورد استفاده اند .
- دربررسی مجددی که در مورد پایداری چنین سدهایی انجام شده است مشاهده شده که بعضی از این گونه سدها دارای اطمینان مرزی یا کمتر از استاندارد مورد نیاز در مقابل زلزله هستند و به تقویت؛ کاهش در شیب و یا اصلاح وضعیت زهکشی نیاز دارند .

سدهای سنگریز

- این گونه سدها نیز برای اولین بار در کالیفرنیا در اواسط قرن نوزدهم مورد استفاده قرار گرفته تا دهه چهارم قرن بیستم این گونه سدها بصورت زیر مشخص می شدند:
- یک قسمت سنگریز سست بعنوان بخش اصلی بدنه و اسکلت باربر سد؛ یک رویه غیر قابل نفوذ در سمت آب و یک قسمت انتقالی بین این دو
- وزن سنگها عامل مقاوم در مقابل نیروی آب می باشد و هیچگونه عمل قوسی یا طره ای نمی تواند در این گونه سدها مؤثر باشد
- اکثراً معتقدند که سنگریز را درخلال ساختمان باید مرطوب یا غوطه ور نمود تادرامرنشست تسریع وتسهیل بعمل آید

سدهای خاکی و سنگریز مدرن

- سال ۱۹۴۰ آغاز دگرگونی تدریجی در طرح و اجرای سدهای خاکی و سنگریز است . این امر با گسترش و تکمیل و سائل حمل و تراکم خاک همراه بوده است
- . با جایگزین شدن لایه نسبتاً صلب بالا دست در سدهای سنگریز با یک لایه انعطاف پذیرتر در طرح اینگونه سدها اصلاحاتی ایجاد شد . به این ترتیب که فیلترهایی با ضخامتهای مختلف در دو طرف هسته مایل رسی قرار می گرفت
- بهمین ترتیب محاسبات پایداری و تکنیکهای آزمایشگاهی به سرعت گسترش یافت و نظیر همه رشته های مهندسی و طرحهای بزرگ ساختمانی خرابیهائی نیز در بین راه ایجاد گردید
- با افزایش دقت و کنترل در طرح و اجرای سدها و نیز افزایش جمعیت در پائین دست اینگونه سدها تأکید بسیار بیشتری بر روی مطالعات هیدرولیکی و طرح و اجرای سرریزهای رزرو و اضطراری باید بگردد

انتخاب محل برای سدهای خاکی

قبلاً اشاره شد که یک سد خاکی نیز همانند سدهای مخزنی بتنی باید قادر به ذخیره‌سازی حجم مناسبی آب و نیز بالا آوردن سطح آب تا ارتفاع مطلوب باشد، تا در نتیجه قادر به تأمین مقاومت برای تحمل نیروهای ناشی از فشار آب و وزن سد و نیز مقاومت در مقابل نشت آب باشد. از نظر کلی، در سدهای خاکی نیز بهترین محل احداث به لحاظ توپوگرافی محلی است که در آن دره‌ای عریض با دیواره‌های بلند به یک گلوگاه یا دره‌ای باریک با عرض کم و دیواره‌های مستحکم منتهی شود، به گونه‌ای که با حداقل طول تاج در ارتفاع معینی، حداکثر حجم ذخیره را ایجاد کند. البته این شرایط معمولاً برای تمام انواع سدهای مخزنی صادق است. مع‌ذلک علاوه بر شرایط مذکور، در انتخاب محل برای احداث سدهای نوع خاکی شرایط دیگری نیز قابل ذکر است که در ذیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

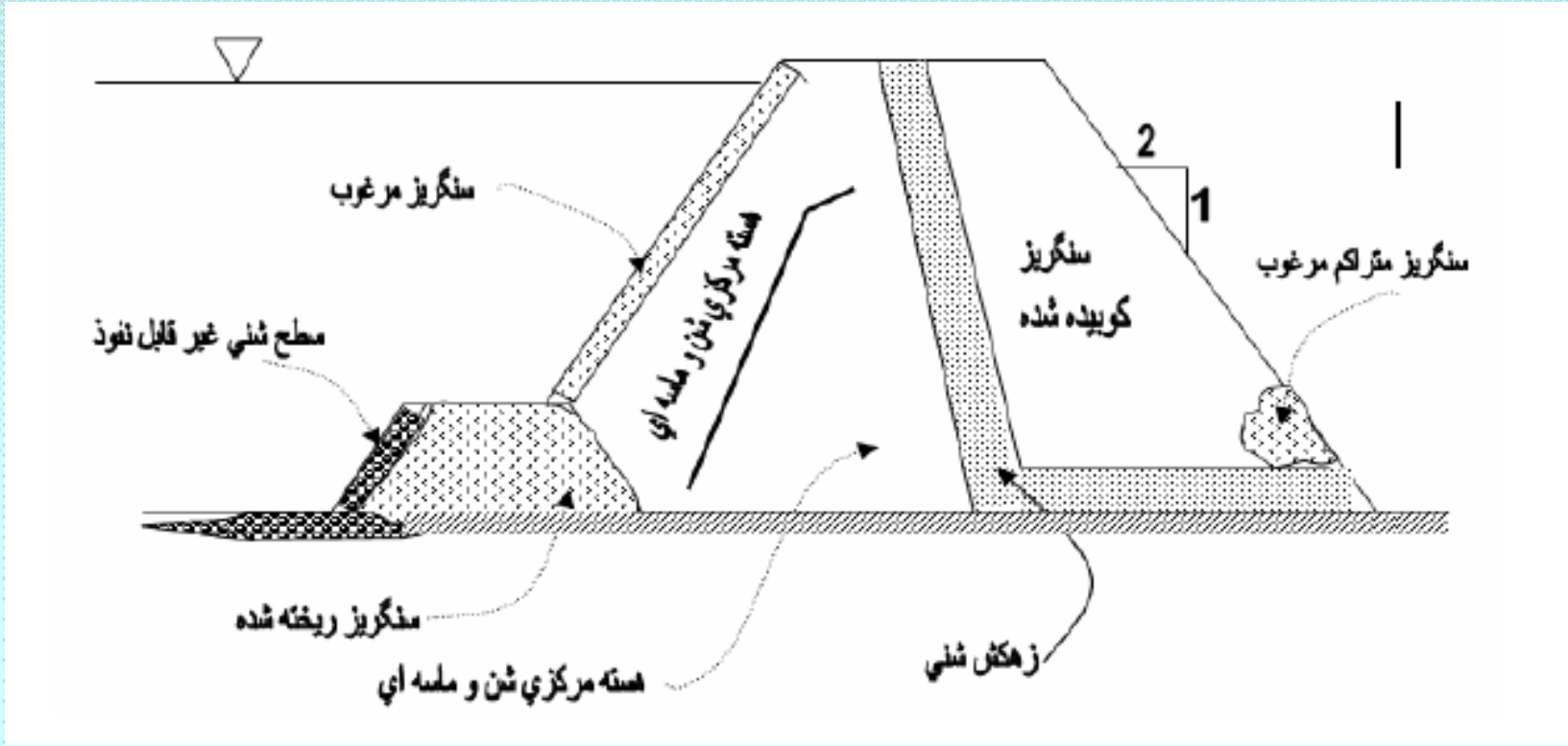
نظر به اینکه در سدهای نوع خاکی معمولاً سرریز آب از روی بدنه (به‌دلیل انرژی فرسایشی آب جاری و عدم چسبندگی و مقاومت برشی کم مصالح خاکی در مقابل آن) مجاز نیست، ازاین‌رو وجود محل مناسب برای استقرار یک سرریز از شرایط اولیه در انتخاب محل است. در این زمینه وجود دره‌های فرعی در کنار بستر اصلی رودخانه یا وجود تکیه‌گاه‌های سنگی با توپوگرافی مناسب و نیز زینچهٔ کناری [۳] جهت احداث سرریز و تخلیهٔ طغیان‌ها از جمله مزایای یک محل محسوب می‌شود. درخصوص احداث تونل یا مجاری انحراف و انتقال آب از بالادست به پایین‌دست، وجود بستر دارای انحنا به شکل U یا S به لحاظ امکان یافتن مسیر کوتاهتر انتقال از جمله مزایای محل محسوب می‌شود.

از نظر زمین‌شناسی نیز علی‌رغم اینکه سدهای نوع خاکی قابل احداث بر روی بسیاری از تکیه‌گاه‌های نه چندان مناسب‌اند، اما محل احداث سد باید دارای حداقل شرایط فنی لازم به‌منظور تحمل تنش‌های اعمال شده (ناشی از وزن بدنهٔ سد و فشار آب) باشد و تغییر شکل‌های حادث‌شده نیز در حد منطقی و قابل پذیرش با توجه به نوع مصالح متشکله و طرح مقطع عرضی بدنهٔ سد باشند.

از آنجاکه سدهای خاکی به‌هیچ‌وجه نباید در معرض سرریز آب از روی بدنه قرار گیرند، بنابراین در انتخاب محل برای احداث آنها باید به مسئلهٔ امکان ایجاد لغزش شیب‌ها به داخل دریاچه (بر اثر اشباع شدن مصالح) و تولید موج‌های بزرگ ناخواسته که ممکن است منجر به سرریزی آب شوند، توجه کافی مبذول داشت. وجود شیب‌های پایدار در مخزن به هنگام اشباع شدن مصالح از جمله مزایا در انتخاب محل احداث یک سد خاکی تلقی می‌شود.

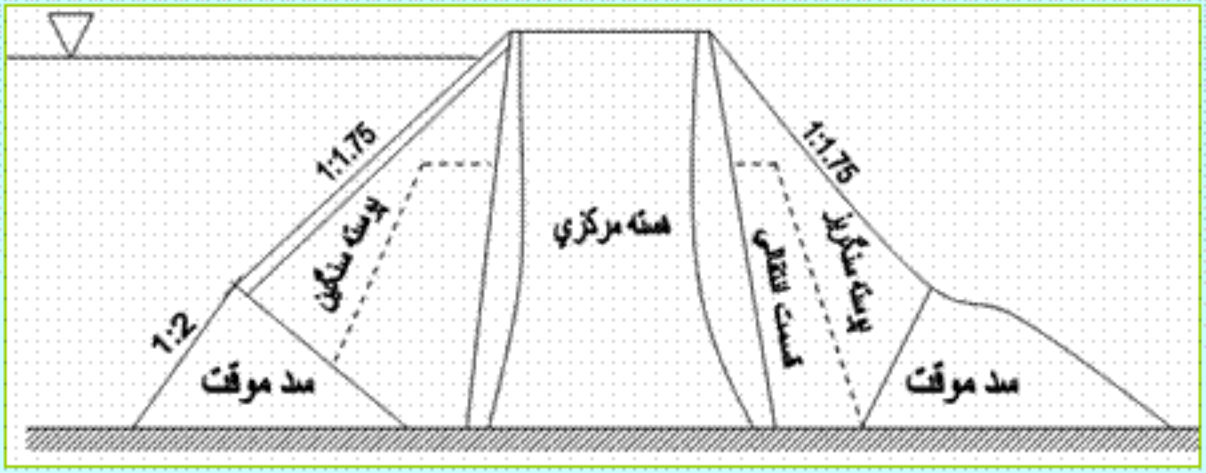
انتخاب شکل سد خاکی

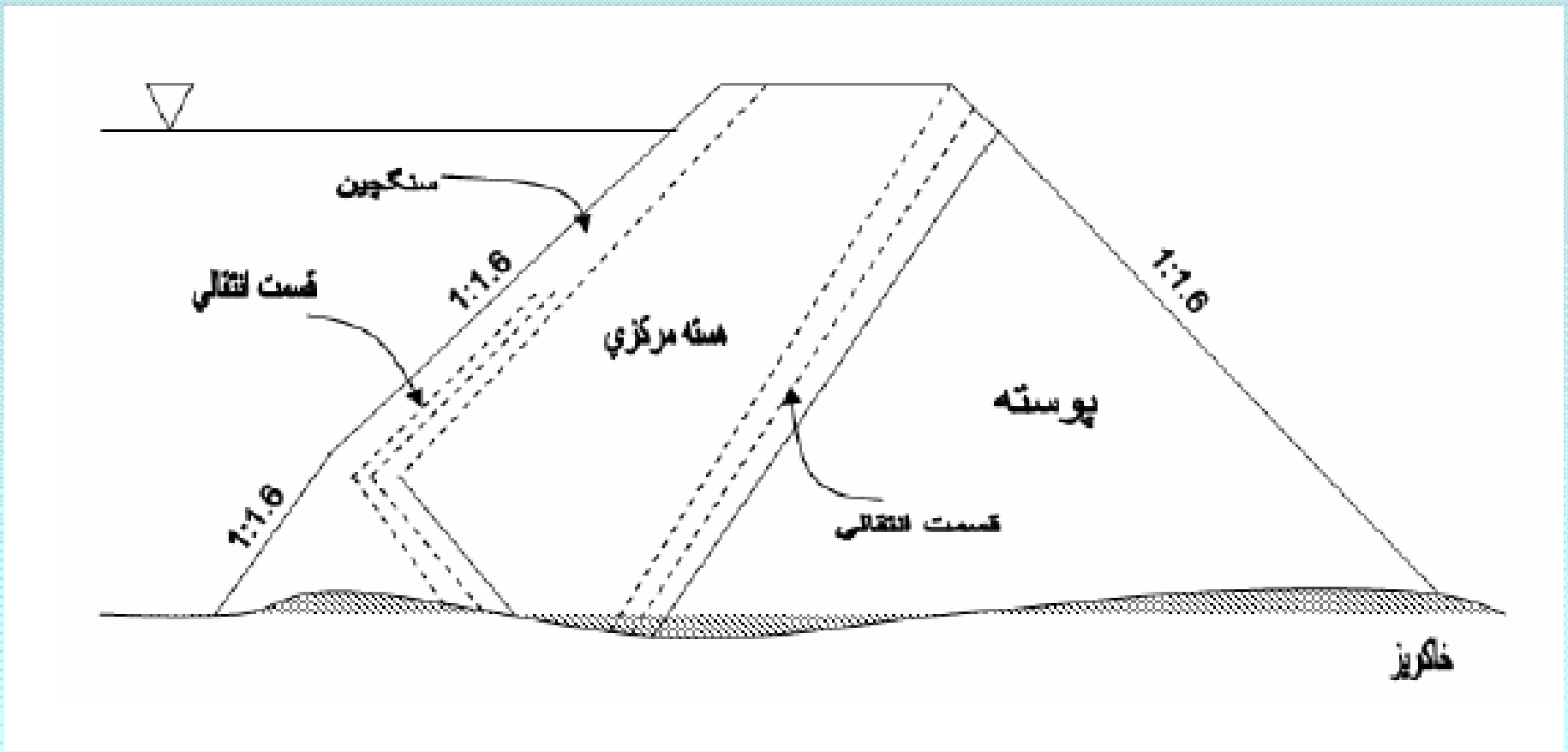
- یک سد خاکی ممکن است دارای مقطع یک قسمتی (همگن) بایک زهکش داخلی باشد که معمولاً بصورت زهکش دودکشی ، عمودی و یا مایل است . شکل کلی مقطع ممکن است دو قسمتی باشد



انتخاب شکل سد خاکی

- در سالهای اخیر تغییراتی در طرح محل هسته مرکزی پدید آمده است . قبلاً هسته مرکزی یا در وسط و بصورت عمودی و یا بصورت پوسته ای مایل بر روی سنگریز و یا شیب ساخته می شد ولی اخیراً حالت بینا بینی در نظر گرفته می شود که میتوان آنرا مایل نام گذاشت که محل هسته در مرکز بوده و دارای شیبی برابر می باشد




سنگچین
قسمت انتقالي
1:1.6
هسته مرکزي
1:1.6
پوسته
1:1.6
قسمت انتقالي
خاکریز

یکی‌از شرایط اولیه و ضروری برای‌انتخاب گزینهٔ سد نوع خاکی، وجود مصالح خاکی مطلوب با حجم مورد نیاز در فاصلهٔ نسبتاً کم و قابل قبول (از نظر اقتصادی) از محل احداث سد است. از آنجا که در سدهای خاکی حجم زیادی از مصالح مورد استفاده قرار می‌گیرند، ازاین‌رو همواره باید منابع تهیهٔ مصالح در فاصلهٔ معقولی از محل احداث سد قرار داشته باشند تا هزینه‌های زیاد ناشی از حمل از فواصل دور، پروژه را از نظر اقتصادی غیرقابل توجیه نسازد. شایان ذکر است که اصولاً کیفیت و کمیت مصالح موجود در محل، تعیین‌کنندهٔ نوع سد خاکی است و همواره چنانچه انواع مصالح خاکی در حجم مطلوب برای ساخت قسمت‌های مختلف بدنه در نزدیکی محل احداث موجود باشد، احداث سد دارای توجیه اقتصادی مطلوبی خواهد بود.

مقطع تیپ سدهای خاکی

همان‌گونه که در قسمت‌های قبل تشریح شد، سدهای نوع خاکی به‌دلیل تحمل نیروها از طریق وزن، دارای مقطع ذوزنقه‌ای شکل هستندو اجزای اصلی متشکلهٔ آنهارا می‌توان در چهار بخش به‌شرح زیردسته‌بندی کرد[۱۱]:

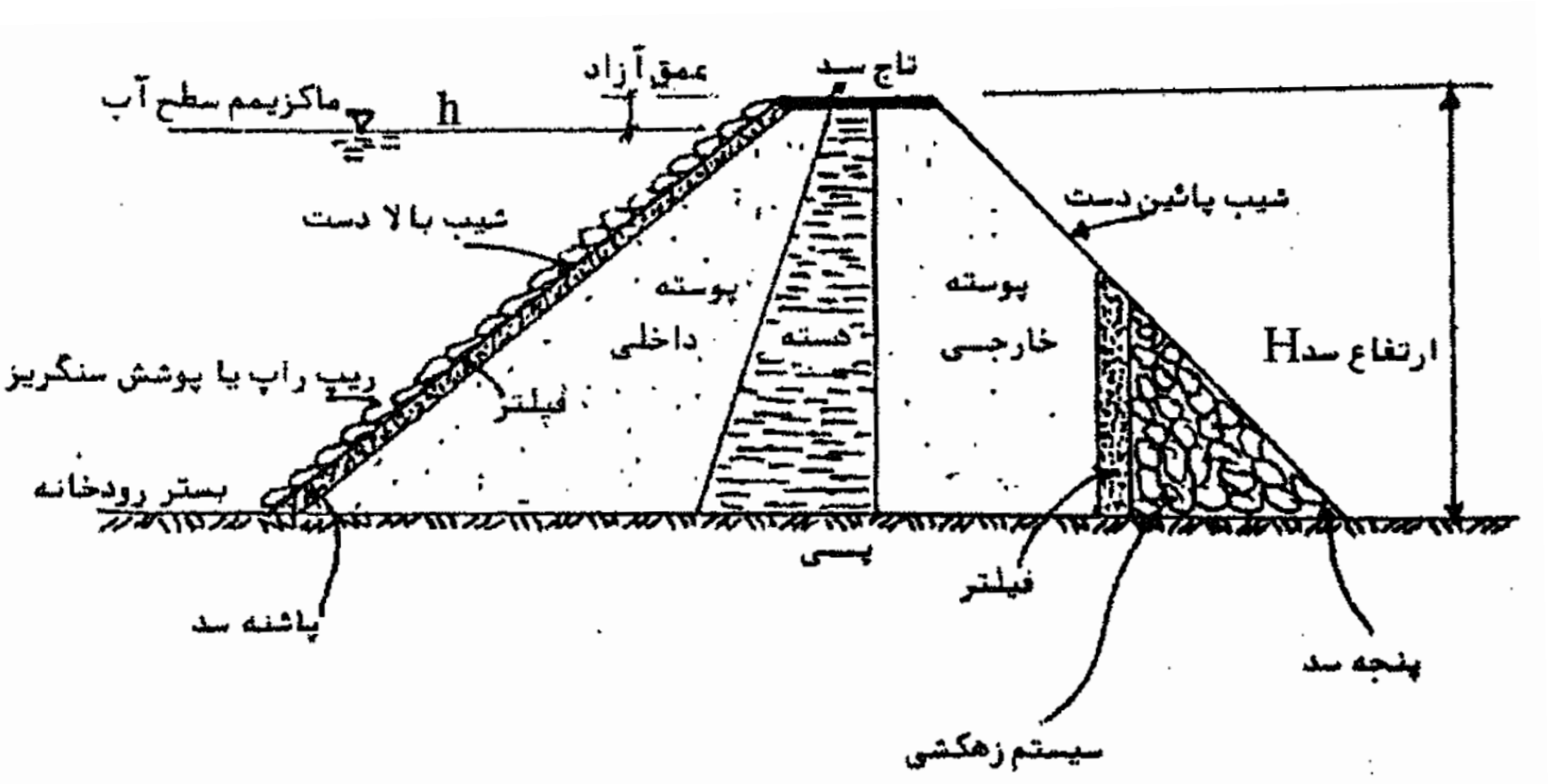
الف) بدنهٔ اصلی سد که نقش عمده را در تحمل نیروهای وارده ایفا می‌کند.

ب) قسمت نفوذناپذیر یا سیستم آب‌بندی که ممکن است به‌صورت یک غشا یا لایهٔ ناتراوا در داخل بدنه یا در سطح شیب بالادست استقرار یابد.

ج) پی یا تکیه‌گاه سد که متشکل از لایه‌های خاک یا سنگ موجود در زیر بستر رودخانه و تکیه‌گاه‌های جانبی با وظیفهٔ تحمل فشار ناشی از وزن سد و نیروی هیدرواستاتیک آب است.

د) سیستم زهکشی که وظیفهٔ آن جمع‌آوری آب نفوذیافته به داخل بدنه یا پی سد است.

شکل ۲-۱ مقطع عرضی تیپ یک سد خاکی غیرهمگن را با ذکر نام اجزای مختلف آن نشان می‌دهد.



مقطع تیپ یک سد خاکی غیر همگن

نام‌گذاری اجزا و قسمت‌های مختلف یک سد خاکی به‌شرح زیر است:

- تاج سد [1] : بالاترین قسمت بدنهٔ اصلی سد (قاعدهٔ فوقانی ذوزنقه).
- ارتفاع سد : فاصلهٔ تاج تا بستر رودخانه قبل از ساختمان که معمولاً آن را با H نشان می‌دهند.
- عمق آزاد [2] : فاصلهٔ قائم بین تاج سد و حداکثر سطح آب دریاچه در پشت سد.

- شیب بالادست بدنه [1] : از شیب بدنهٔ سد در قسمت داخلی مجاور دریاچه. قسمت بالادست سرآب نیز نامیده می‌شود. این شیب ممکن است مرکب باشد.
- شیب پایین‌دست بدنه [2] : شیب بدنهٔ سد در قسمت خارجی که پایاب نیز نامیده می‌شود. این شیب ممکن است مرکب یا پلکانی نیز باشد.
- هستهٔ سد [3] : از یک لایهٔ غیرقابل‌نفوذ که برای جلوگیری از نفوذ و نشت آب در بدنهٔ سد ساخته می‌شود. این لایه ممکن است از جنس رس یا خاک‌های رسی و گاهی اوقات نیز از جنس بتن، فولاد، لاستیک، پلاستیک، قیر یا چوب باشد.

- پوستهٔ بالادست یا پوستهٔ داخلی [۴] : بدنهٔ اصلی سد در پشت هسته (به سمت دریاچه). این لایه خود ممکن است از یک یا چند لایهٔ مختلف تشکیل شده باشد.
- پوستهٔ پایین‌دست سد یا پوستهٔ خارجی [۵] : بدنهٔ اصلی سد در قسمت جلو هسته (به سمت خارج). این لایه نیز ممکن است از یک یا چند لایهٔ مختلف ساخته شده باشد.
- سیستم زهکشی : یک قسمت ساخته‌شده از ذرات خاکی درشت دانه با اندازه‌های مختلف که برای جمع‌آوری آب نشت‌یافته در بدنه و پی سد در قسمت پایین‌دست هسته و زیر سد تعبیه می‌شود. این سیستم زهکشی معمولاً با یک سیستم فیلتر همراه است که نقش آن جلوگیری از شسته شدن ذرات به داخل سیستم زهکشی است.
- پاشنهٔ سد [۶] : محل اتصال شیب بالادست به کف رودخانه.
- پنجهٔ سد [۷] : محل اتصال شیب پایین‌دست به کف رودخانه.

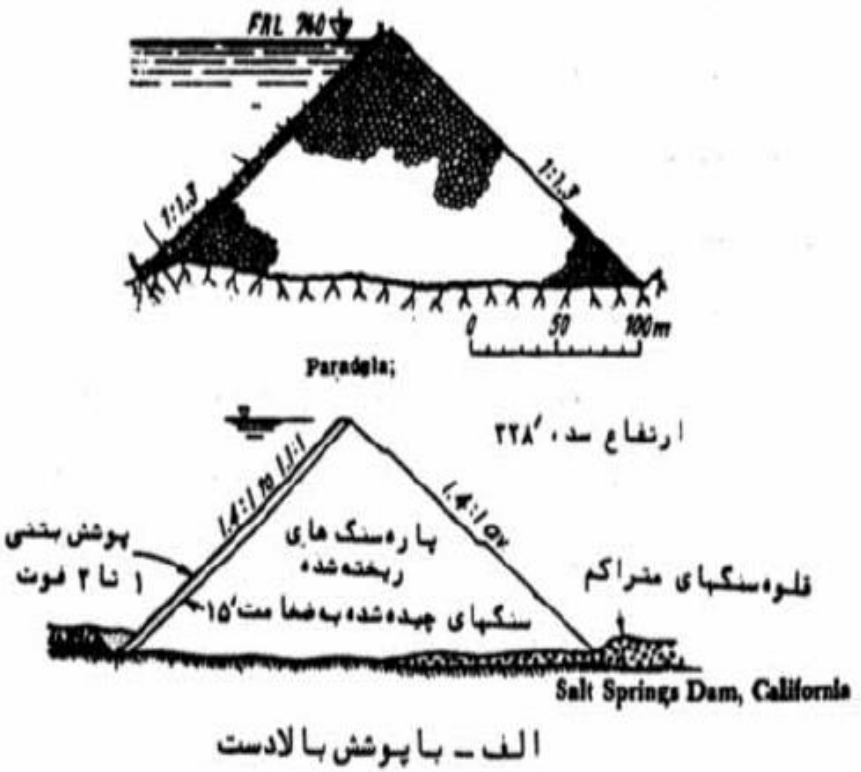
سیستم های زهکشی معمولاً یا در این قسمت ساخته می‌شوند یا به این قسمت ختم می‌گردند.

- پی سد [8]: بستر رودخانه یا لایه‌های زیرین آن که بدنهٔ سد به‌طور مستقیم روی آن ساخته می‌شود. پی سد ممکن است از مصالح با نفوذپذیری‌های متفاوت تشکیل شده باشد.

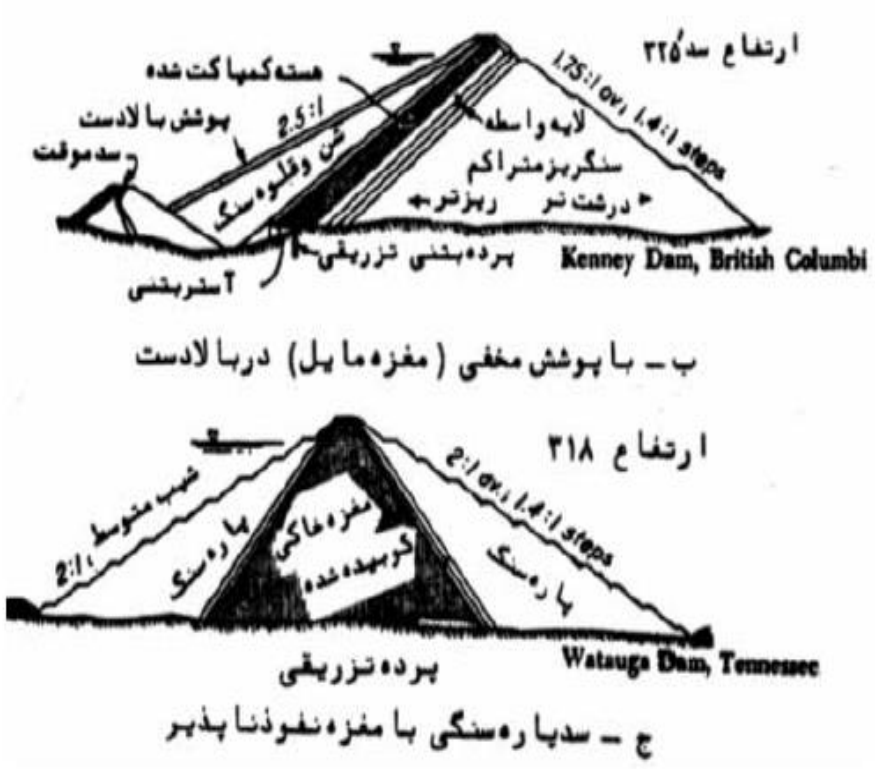
- پوشش سنگریز محافظ شیب یا ریپ راپ [1]: یک لایه لاشه‌سنگ به ضخامت‌های مختلف که روی شیب بالادست بدنه استقرار یافته و نقش آن حفظ این سطح در مقابل عمل فرسایش امواج دریاچه است. این لایه معمولاً برای جلوگیری از شسته شدن ذرات، روی یک لایه شن و ماسه به ضخامت تقریبی ۰/۳۰ تا ۰/۶۰ متر قرار می‌گیرد.
- تکیه‌گاه جانبی [2]: بستر شیبدار دیواره‌های دره در محل اجرای سد و اتصال به بدنه که به‌عنوان پی جانبی عمل می‌کند.

- تأسیسات ضمیمه : همان‌طور که قبلاً اشاره شد، چون بدنهٔ اصلی سد خاکی از مصالح بدون ملات ساخته می‌شود، ازاین‌رو هیچ‌گاه نباید در معرض جریان آب قرار گیرد. بدین لحاظ معمولاً تأسیسات ضمیمهٔ این نوع سدها شامل سرریز، دریچه‌های مختلف سیل‌گیر، دریچه‌های آب‌گیری از سد، سیستم انحراف و انتقال و محل نصب توربین‌های تولید برق آن در قسمتی از بدنه یا تکیه‌گاه‌ها که با بتن و فولاد ساخته می‌شود، قرار می‌گیرند. محل این قسمت ساخته‌شده بستگی کامل به وضعیت توپوگرافی، شکل و ابعاد سد و همچنین مقطع عرضی رودخانه در محل ساختمان سد دارد.

انواع معمولی سدهای پاره سنگی



الف ـ با پوشش بالادست



ب ـ با پوشش مخفی (مغزه مایل) در بالادست

ج ـ سد پاره‌سنگی با مغزه نفوذناپذیر

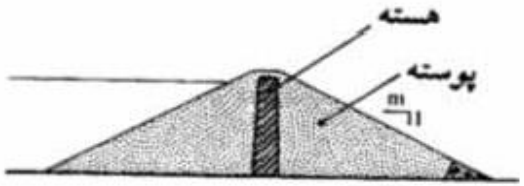
مقاطع تیپ سدهای خاکی روی پی نفوذ ناپذیر

(الف) مقطع همگن با زهکش پنجه

$m = 1.5-2.5$

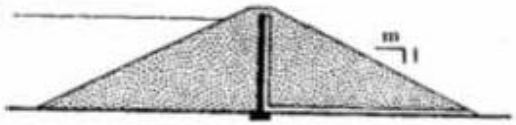
(ب) مقطع همگن با زهکش دودکشی (زهکش ستونی)

$m = 2.5-3.5$



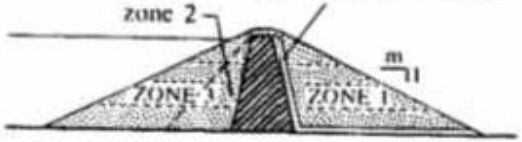
(پ) هستهٔ رسی لاغر

$m = 2.0-3.0$



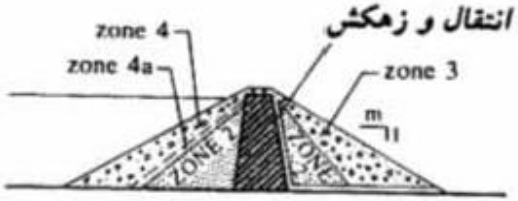
(ت) هستهٔ بتنی لاغر

$m = 2.0-3.0$



(ث) مقطع غیرهمگن با هستهٔ عریض و نواحی انتقال و زهکش

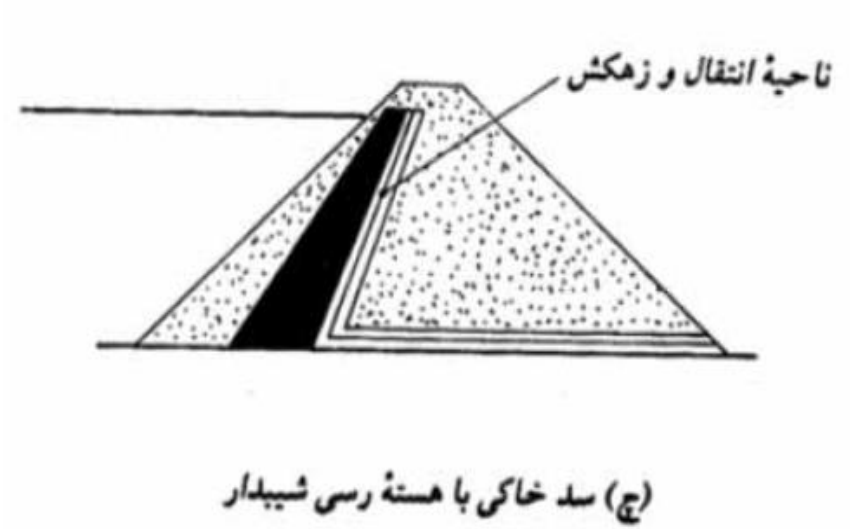
$m = 2.5-3.5$



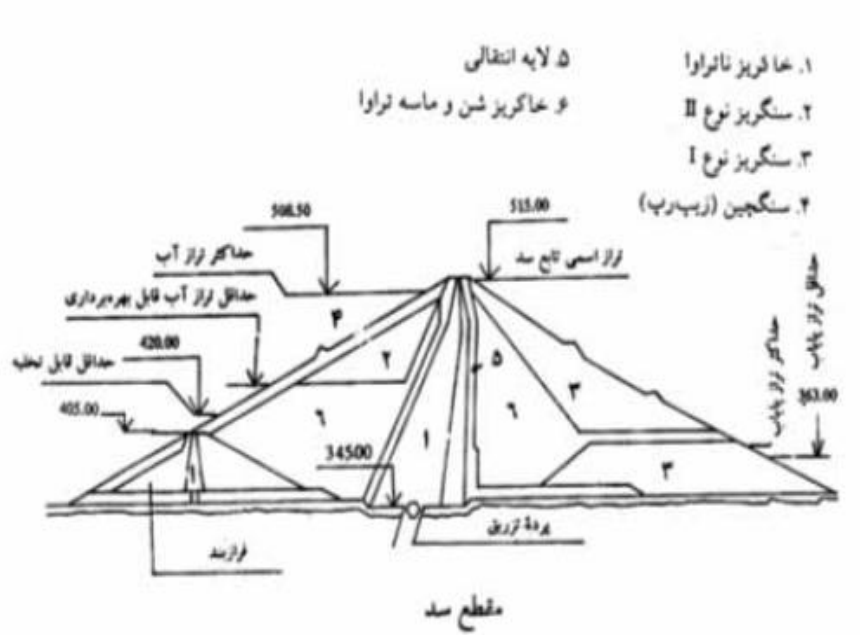
(ج) سد خاکی ـ سنگریزه‌ای با هستهٔ رسی با ناحیهٔ انتقال و زهکش

$m = 1.6-2.0$

مقاطع تیپ سدهای خاکی روی پی نفوذ ناپذیر

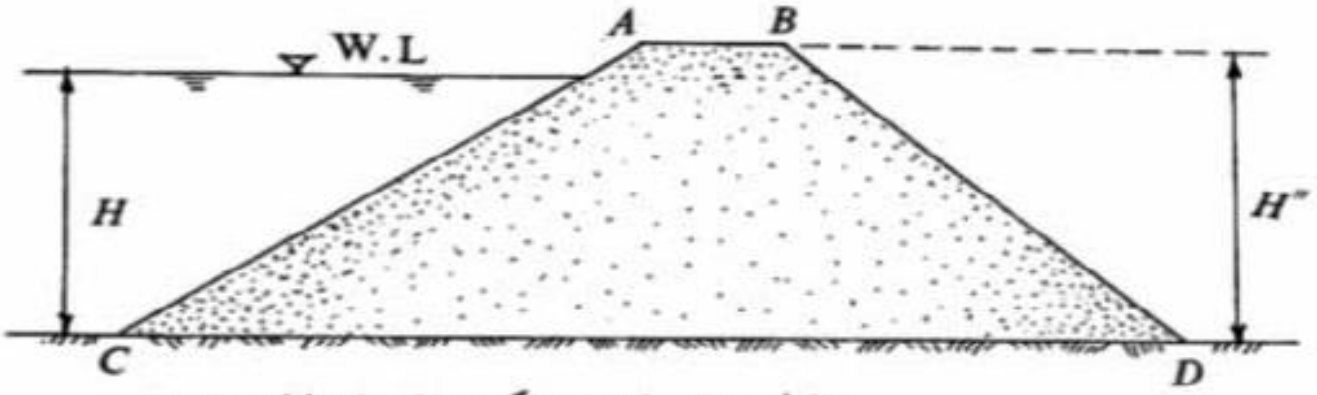


(ج) سد خاکی با هستهٔ رسی شیبدار

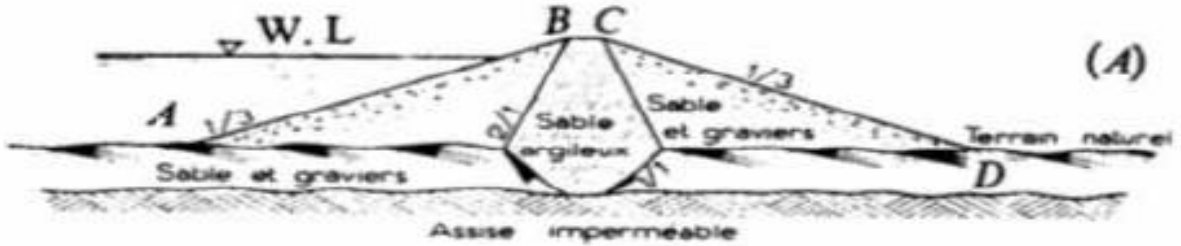


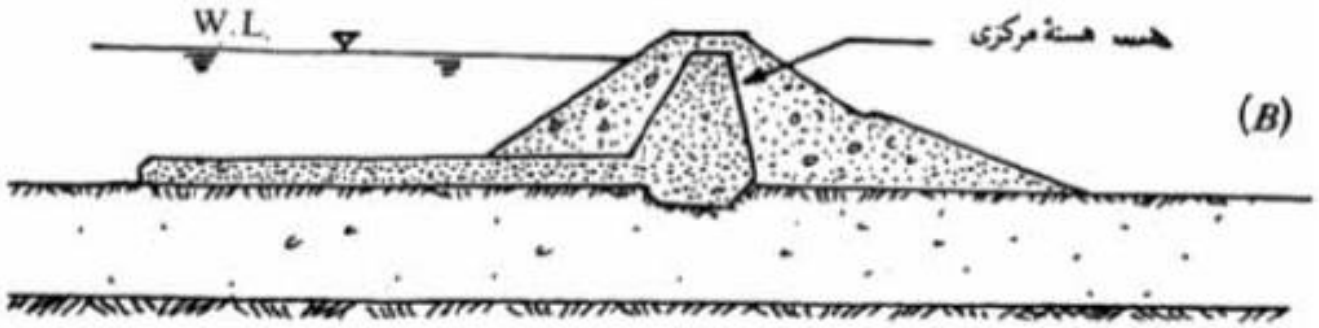
مقطع سد

سد مخزنی مارون در ۱۹ کیلومتری شمالشرقی بهبهان بر روی رود خانه مارون در استان خوزستان



مقطع عرضی ازسد خاکی درامتداد طولی رودخانه





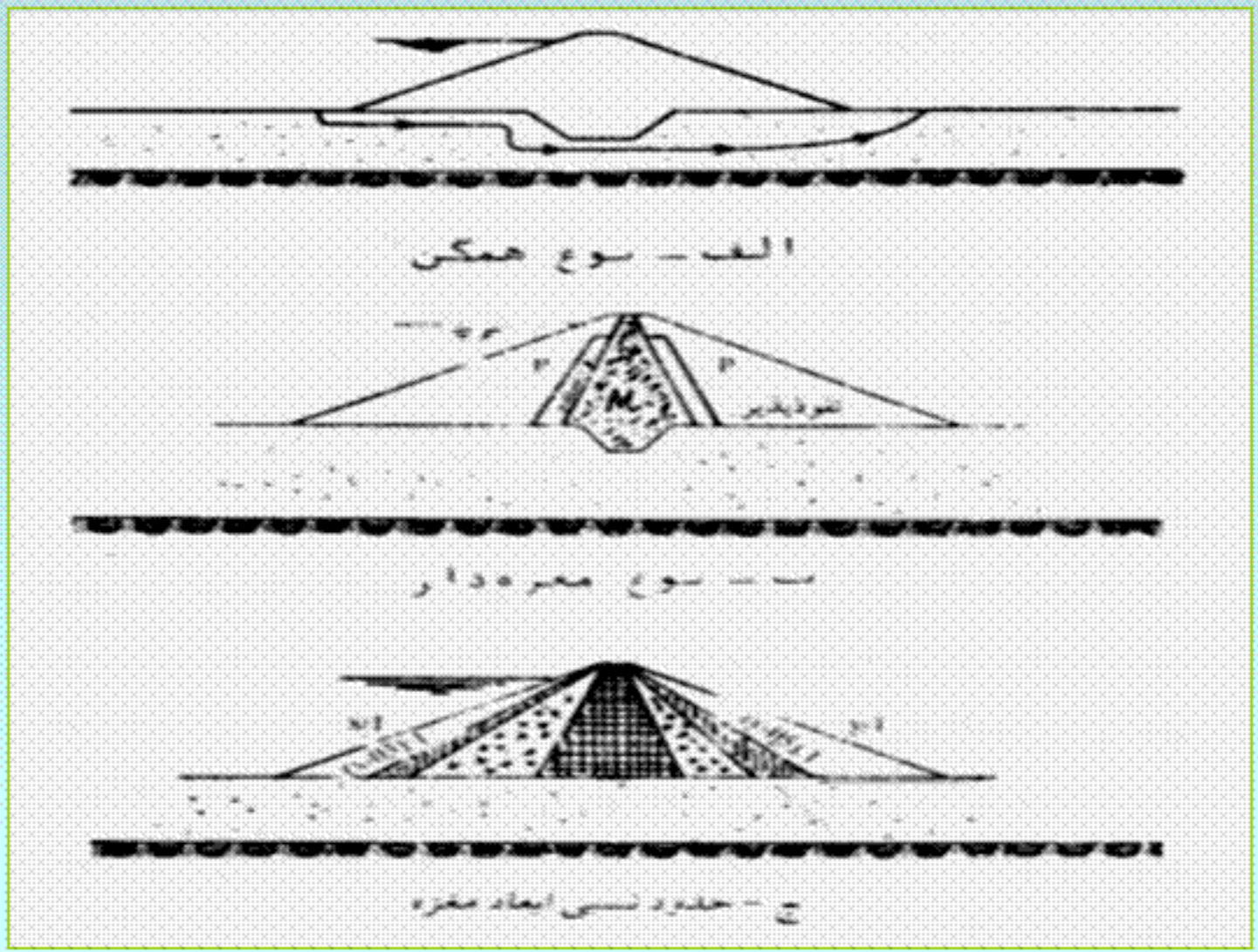
مقطع عرضی ازسد خاکی با دونوع هستهٔ مرکزی

گونه های مختلف از دیدگاه همگنی بدنه سد

- **۱ ـ نوع همگن** : نوع همگن به سدی گفته میشود که تمام بدنه آن از یک نوع مصالح ساخته می شود . در این نوع سد ، چون قسمت عمده سد ، از زه اشباع می شود و دامنه پایاب نیز تحت تأثیر زه می باشد ، لازم است که شیب دامنه ها خیلی کم گرفته شود تا دامنه پایاب در برابر زه و دامنه سراب در یک تخلیه سریع مقاوم باشد
- اگر در این نوع سدها هیچ گونه تکنیک زهکشی به کار برده نشود ممکن است دامنه پائین دست در اثر زه اشباع شود از این رو قرار دادن زهکش افقی یا پنجه سنگی در پایاب ، و ایجاد پوشش بالا دست در بستر مخزن ورودی دامنه بالادست از روشهایی هستند که به منظور کنترل زه و پایداری بیشتر سد بکار برده می شوند

گونه های مختلف از دیدگاه همگنی بدنه سد

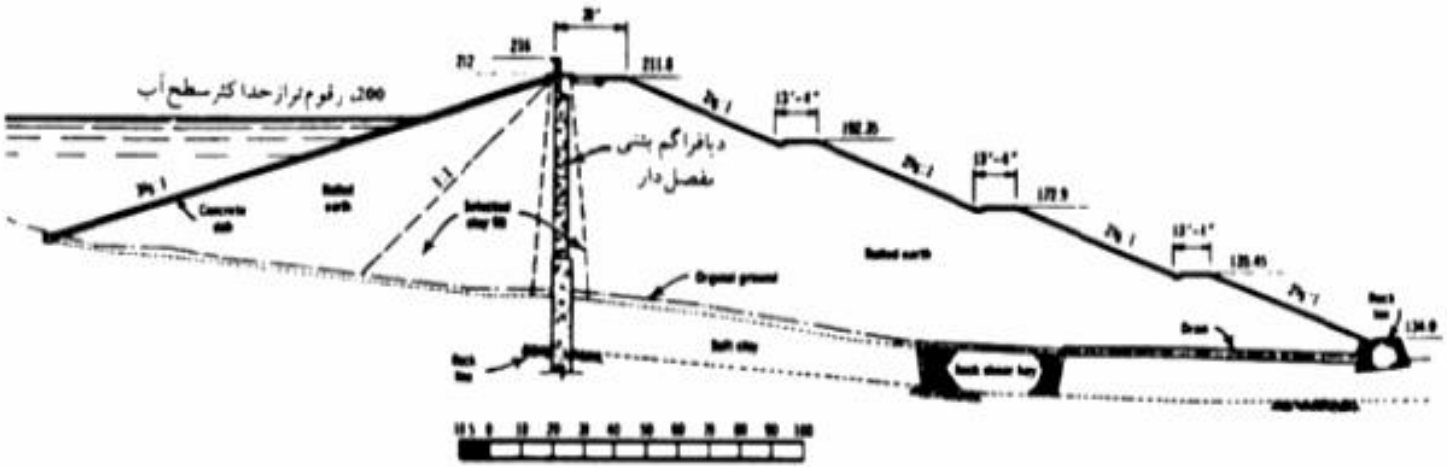
- **۲ ـ نوع مطبق:** نوع مطبق (یا مغزه دار) از معمولی ترین نوع سدهای خاکی است . در این نوع ، نقش آب بندی سد بعنوان مخزن به عهده مغزه است و نقش استحکام و پایداری را عمدتاً پوسته سد ایفا می کند . پوسته پائین دست علاوه بر استحکام ، نقش زهکش را نیز دارد
- حداقل عرض قاعده مغزه باید برابر ارتفاع سد باشد چنانچه این عرض از ارتفاع کوچکتر باشد بعنوان تیپ دیافراگمی تلقی می گردد . همچنین اگر عرض قاعده از حد معینی بزرگتر باشد سد به نوع همگن تبدیل می شود
- ارتفاع مغزه ترجیحاً باید به تاج سد برسد و در صورتی که از این حد کمتر است ، لازم است تا آن حد باشد که سد از خطر سیفون مویینی مصون باشد ، زیرا آب مویینی به علت کشش سطحی به سمت بالا حرکت می کند و در شرایطی ممکن است در بخش دیگری به سمت پائین جریان یابد


الف – نوع همگن
ب – نوع مغزه‌دار
ج – حدود نسبی ابعاد مغزه

گونه های مختلف از دیدگاه همگنی بدنه سد

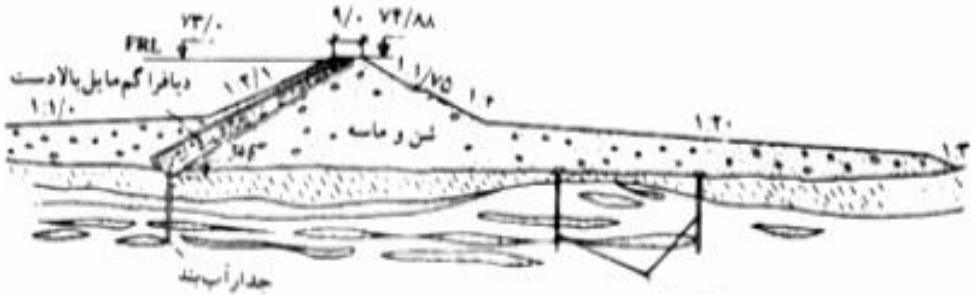
- **۳ ـ نوع دیافراگمی** : در این نوع سد ، تمام بدنه از مواد درشت دانه یا مخلوط ساخته می شود و فقط بخشی که نقش آب بند را دارد بصورت دیوار یا پرده غیر قابل نفوذ در بدنه سد تعبیه می گردد که ممکن است به صورت دیافراگم مرکزی یا در دامنه بالا دست به صورت یک دیافراگم مایل باشد
- جنس این پرده نفوذ ناپذیر را می توان از خاک رس ، سیمان ، چوب و غیره انتخاب نمود . دیافراگم مایل به نام پوشش مخفی نیز نامیده می شود . پرده های آب بند اعم از این که در قسمتهای مرکزی یا کناری قرار گیرند باید تا بالاترین نقطه سد ادامه یابند
- در صورتی که شالوده زیرین نفوذ پذیر بوده و کم عمق باشد ترجیحاً باید ادامه پرده آب بند تا انتهای بخش نفوذ پذیر شالوده برسد

نوع دیافراگمی سدهای خاکی



Waterfall Dam, Hong Kong.

الف ـ دیافراگم محوری قائم



Nekhranitse Dam (Czechoslovakia)

ب ـ پوشش مخفی در بالادست سد

نوع دیافراگمی سدهای خاکی

- دیافراگم داخلی که از مواد صلب مانند بتن ساخته شوند ممکن است به علت نشست سد در بعضی از نقاط شکسته شوند ، از این رو ترجیح داده می شود که مغزه دیافراگمی در وسط سد از خاک رس ساخته شود که عرض این مغزه خاکی در قاعده سد باید از ۰/۳ تا ۰/۵ برابر ارتفاع سد باشد
- قرار دادن مغزه دیافراگمی در وسط سد از سهولت ساخت برخوردار است در حالی که دیافراگم مایل نسبت به دیافراگم محوری تا حدی پایداری بیشتری را در برابر زلزله تأمین می کند
- چنانچه جدار دیافراگمی تمامی ارتفاع از تاج سد تا انتهای شالوده نفوذ پذیر را نپوشاند آنرا دیافراگم ناقص نامند . ممکن است بخشهای عمیق شالوده را در زیر دیافراگم ناقص به وسیله تزریق یا پرده سپرهای فلزی و غیره آب بندی نمود

طبقه‌بندی سدهای نوع خاکی

سدهای خاکی بر حسب کمیت و کیفیت مصالح به‌کار برده شده و نیز متناسب با روش ساخت ممکن است به دو صورت زیر طبقه‌بندی شوند:

الف) بر حسب نوع مصالح

ب) بر حسب روش ساخت

هریک از دو سیستم طبقه‌بندی فوق در ذیل تشریح می‌گردند.

طبقه‌بندی بر حسب نوع مصالح

از نظر کمیت و کیفیت مصالح مورد استفاده، سدهای خاکی به سه گروه به‌شرح زیر تقسیم می‌شوند:

- سدهای خاکی همگن [1]
- سدهای خاکی غیرهمگن [2] (منطقه‌بندی‌شده)
- سدهای سنگریز با غشای نفوذناپذیر [3] یا سدهای خاکی غشایی

از آنجاکه انتخاب نوع سد خاکی به‌طورکلی تابع کمیت و کیفیت مصالح موجود و شرایط پی است، هریک از گروه‌های فوق به‌طور جداگانه تشریح می‌شوند.

سدهای خاکی همگن

هر سد خاکی که قسمت اعظم بدنهٔ آن از یک نوع مصالح ساخته شده باشد، حتی اگر در داخل آن یک سیستم زهکش نیز تعبیه شود، همگن نامیده می‌شود. البته در این زمینه علی‌رغم اینکه در سدهای سنگریز نیز قسمت اعظم بدنهٔ سد از یک نوع مصالح (قلوه‌سنگ و لاشه‌سنگ) ساخته می‌شود و قاعدتاً باید جزو سدهای همگن محسوب شود، اما در عمل این نام به سدهای متشکله از مصالح ریزدانهٔ همگن که نفوذپذیریشان به حد کافی و قابل قبولی کم است، اطلاق می‌گردد. بدیهی است که در انتخاب این نوع سد محدودیت‌های متعددی از جمله عدم امکان استفاده از همهٔ مصالح حاصل از حفاری‌های محل پی و سرریز یا منابع قرضهٔ مختلف وجود دارد. در این سازه نیز می‌توان برخی از مزایای سدهای خاکی غیرهمگن یا منطقه‌بندی‌شده را با انتخاب مصالح از منابع قرضه متفاوت یا با اعمال انرژی تراکمی و رطوبت‌های متفاوت در قسمت‌های مختلف بدنهٔ سد به‌دست آورد. در این مورد، با افزایش رطوبت یا انرژی تراکمی می‌توان نفوذپذیری مصالح را به میزان ۱۰ تا ۱۰۰ برابر در مقایسه با انرژی و

رطوبت کمتر، کاهش داد.

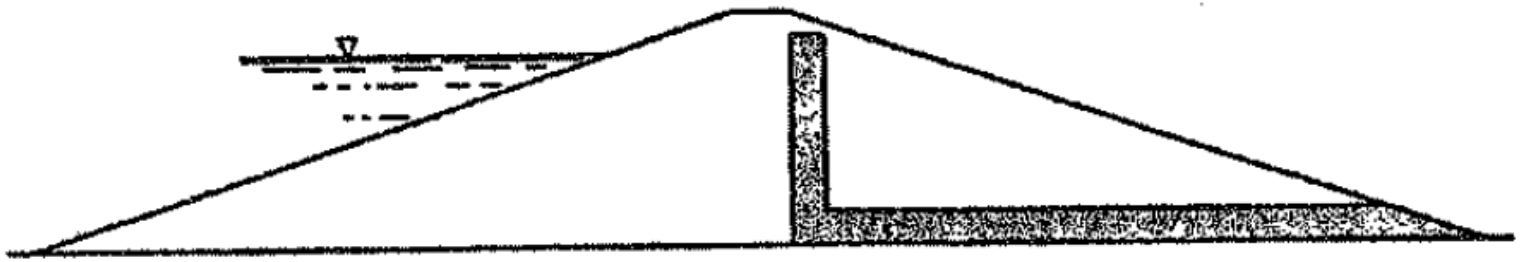
سدهای خاکی همگن در گذشته عمدتاً به‌دلیل عدم وجود سیستم زهکشی و بالا بودن خط نشت و فشار آب منفذی دچار مشکل بوده‌اند، ازاین‌رو در تمام سدهای خاکی همگن که بتازگی طراحی و اجرا شده‌اند، از یک سیستم زهکش مناسب به‌منظور تخلیهٔ آب نشتی ورودی به بدنه و پی سد استفاده شده است. این سیستم‌های زهکشی معمولاً با دو هدف زیر تعبیه می‌شوند:

- پایین نگه‌داشتن خط نشت [1] (خط فریاتیک) در بدنهٔ سد به‌منظور افزایش پایداری شیب پایین‌دست.
- کنترل جریان نشت در هنگام خروج از بدنهٔ سد و جلوگیری از امکان ایجاد فرسایش درونی [2].

در شکل ۲-۲ انواع سیستم‌های زهکش قابل کاربرد در سدهای خاکی همگن نشان داده شده است.

(الف)

(ب)



(ج)

الف- زهکش پنجه Toe Drain

ب - زهکش افقی Blanket Drain

ج - زهکش دودکشی Chimney Drain

زهکش‌های پنجه معمولاً در سدهای با ارتفاع کمتر از ۲۰ متر به‌کار برده می‌شوند، درحالی‌که زهکش‌های افقی می‌توانند برای سدهای خاکی مرتفع‌تر مورد استفاده قرار گیرند. در

هر حال در استفاده از سیستم زهکش افقی‌به تنهایی، همیشه این امکان وجود دارد که به‌علت طبیعت لایه‌بندی‌شدهٔ خاک بر اثر تراکم لایه به لایه و بیشتر بودن نفوذپذیری افقی نسبت به قائم، جریان نشت سیستم زهکش را دور می‌زند، ازاین‌رو سیستم بدون استفاده باقی بماند و برای سد خطرهایی را به‌وجود آورد. در مقایسهٔ سیستم‌های زهکشی مذکور، معمولاً زهکش‌های دودکشی از همه کاراتر بوده و در بیشتر پروژه‌های بزرگ و مهم سدهای خاکی مورد استفاده دارد. در حقیقت، سیستم زهکش اخیر فاقد معایب دو سیستم دیگر است و محدودیتی از نظر کاربرد ندارد. بدیهی است که سیستم دودکشی معمولاً گرانتر از دو سیستم دیگر است، ابعاد و نفوذپذیری مصالح سیستم‌های زهکش باید به گونه‌ای انتخاب شود که سیستم قادر به تخلیهٔ مطمئن کلیهٔ آب‌های ورودی بر اثر پدیدهٔ نشت از بدنه و پی باشد، در ضمن قادر به تخلیهٔ زه‌آب‌های پیش‌بینی‌نشده نیز باشد. بهتر است نفوذپذیری مصالح فیلتر حداقل یکصد برابر نفوذپذیری مصالح سد باشد تا بتواند نقش زهکشی را بخوبی ایفا کند. مشخصات فنی سیستم‌های زهکش‌در فصول آینده به‌طور مفصل‌مورد بحث قرار خواهد گرفت.

سدهای خاکی منطقه‌بندی‌شده (غیر همگن)

هدف اصلی از انتخاب وطراحی سدهای خاکی به‌صورت منطقه‌بندی‌شده، استفادهٔ حداکثر از مصالح موجود محلی، به‌منظور به حداقل رسانیدن هزینه‌های اجرایی سد است. از نظر فنی، معمولاً مصالح ریزدانهٔ نفوذناپذیر (رسی - سیلتی) در مقایسه با مصالح درشت دانهٔ نفوذپذیر (قلوه‌سنگ، شن و ماسه) مقاومت برشی کمتری دارند و در حین ساخت بیشتر در معرض ایجاد فشار آب منفذی و مسائل ناشی از نشت آب می‌باشند. ازاین‌رو حداقل حجم بدنهٔ سد و طبیعتاً کمترین هزینهٔ ساخت هنگامی حاصل می‌شود که استفاده از مصالح ریزدانه در ساخت بدنهٔ سد به حداقل رسیده و به یک هستهٔ نازک مرکزی یا هستهٔ نازک شیبدار به سمت بالادست محدود شود. بقیهٔ حجم بدنهٔ سد باید از مصالح درشت‌دانهٔ نفوذپذیر با مقاومت برشی بیشتر ساخته شده و با تعبیهٔ فیلتر مناسب از هسته جداگردد. بدین ترتیب سدهای خاکی غیرهمگن می‌توانند با هستهٔ مرکزی قائم یا هستهٔ شیبدار به سمت بالادست با ویژگی‌های زیر طراحی شوند :

سدهای خاکی با هستهٔ مرکزی قائم

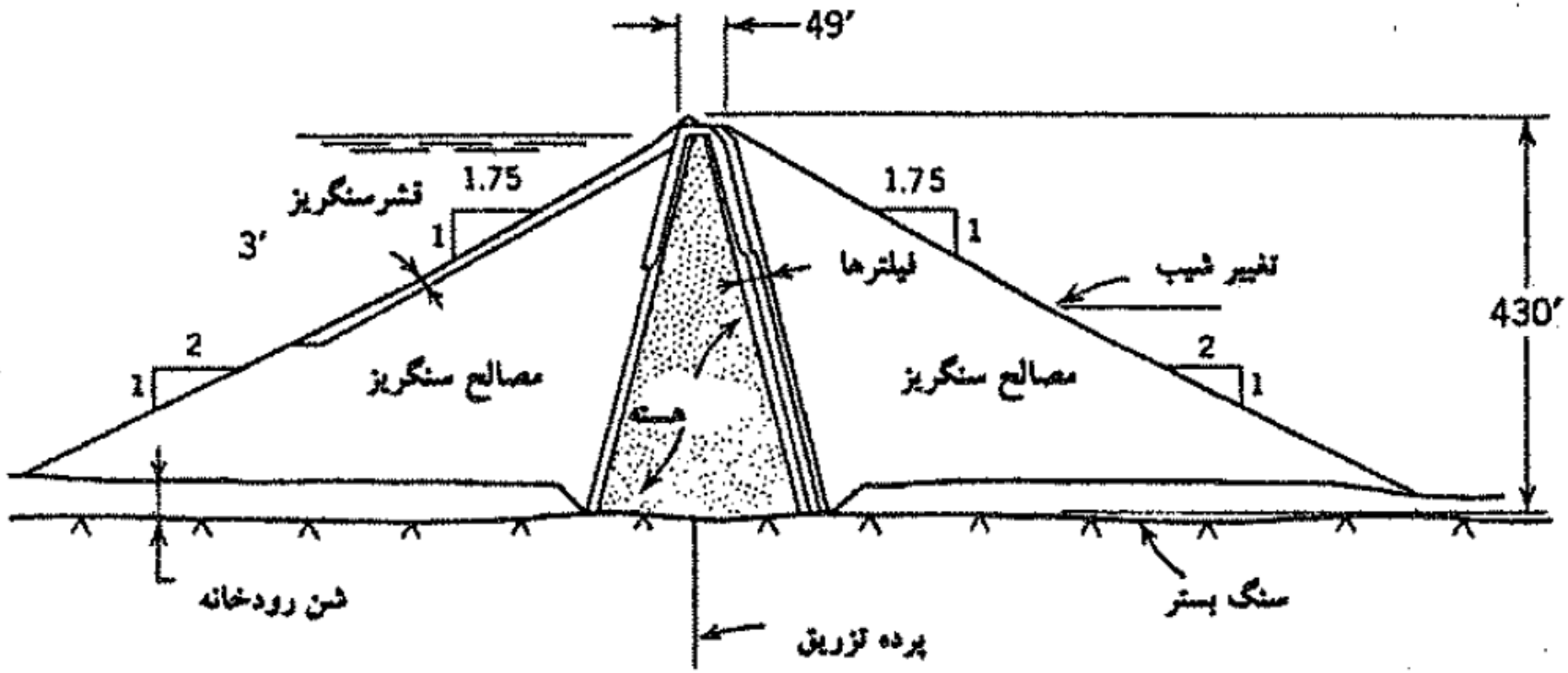
در این حالت، همان‌طور که قبلاً تشریح شد، استفاده از مصالح رسی کم نفوذ، به منطقهٔ مرکزی سد و به‌صورت یک هستهٔ نازک قائم محدود می‌شود. چنانچه پی سد نفوذپذیر باشد، می‌توان هستهٔ مرکزی را به‌صورت ریشه در داخل پی نیز ادامه داد و به لایهٔ غیرقابل‌نفوذ (در صورت کم عمق بودن) متصل ساخت. باید توجه داشت که اصولاً قرار دادن یک هستهٔ نازک قائم بین دو پوستهٔ سنگریز نسبتاً صلب، عموماً خطرناک است، زیرا در چنین صورتی ممکن است در اثر اختلاف زیاد بین نشست‌پذیری هسته نسبت به پوسته‌های اطراف، پدیدهٔ طاق‌زنی [1] بین هسته و پوسته رخ دهد که منجر به کاهش تنش‌های قائم در مصالح هسته و احتمالاً ایجاد ترک در آن خواهد شد. بدیهی است که در صورت وقوع این پدیده، ممکن است گسیختگی یا شکست هیدرولیکی [2] رخ دهد و در نهایت تخریب کامل سد را به‌دنبال داشته باشد.

مزایای استفاده از هستهٔ قائم را می‌توان به‌شرح زیر برشمرد:

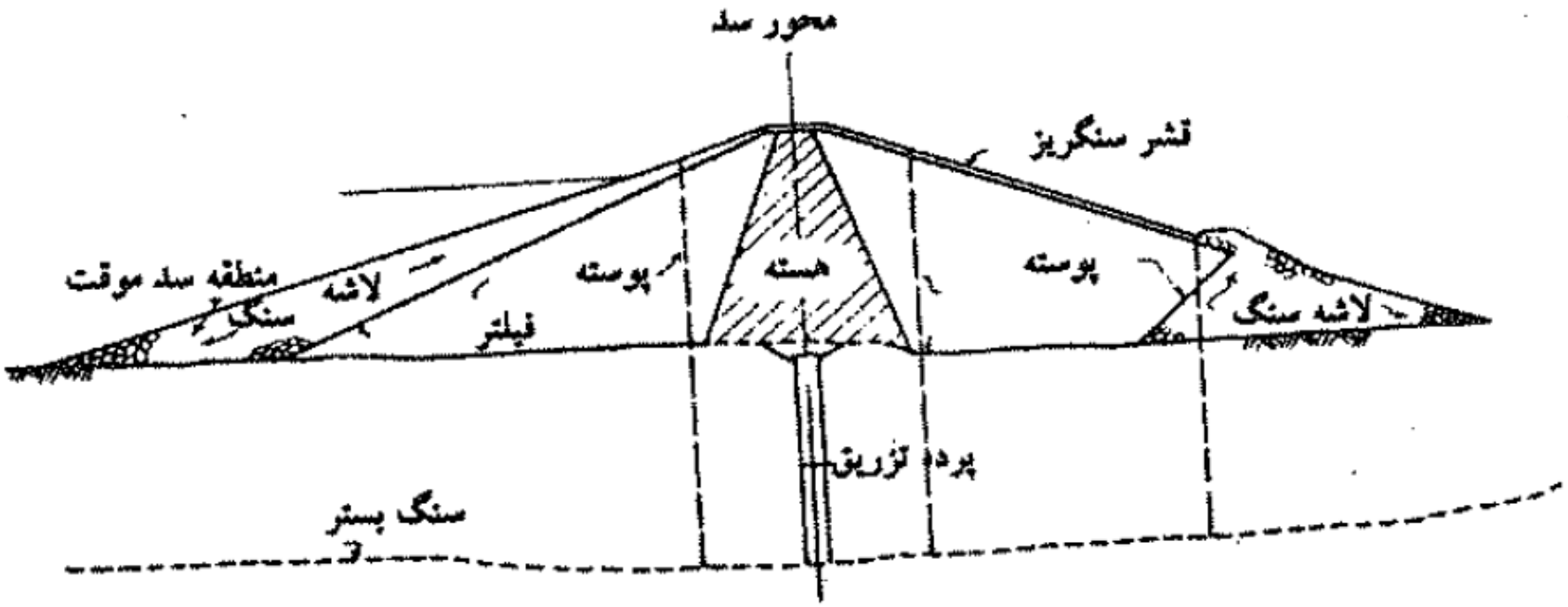
I- وجود فشار تماس [۳] بیشتر بین هسته و پی. این امر احتمال وقوع نشت در محل تماس هسته با پی سد را کاهش می‌دهد.

II- ضخامت هسته به ازای مصرف مقدار معینی از مصالح خاکی، کمی بیشتر از یک هستهٔ شیبدار است.

شکل ۲-۳، مقطع تیپ یک سد خاکی غیرهمگن با هستهٔ قائم را و شکل ۲-۴ مقطع عرضی سد خاکی زرینه‌رود (ایران) را به‌عنوان نمونهٔ عملی این نوع سد نشان می‌دهد [۱۹].



شکل ۲-۳- مقطع عرضی تیپ سد خاکی غیرهمگن با هستهٔ قائم



شکل ۲-۴- مقطع عرضی تیپ سد خاکی زرینه‌رود با هستهٔ قائم

سدهای خاکی غیر همگن با هستهٔ شیبدار

در این نوع سد خاکی غیرهمگن، هسته به‌صورت شیبدار به سمت بالادست اجرا می‌شود و همانند حالت قبل چنانچه پی سد متشکل از یک لایهٔ نفوذپذیر با عمق کم باشد، می‌تواند به‌صورت ریشه در داخل پی نیز نفوذ کند. به‌طورکلی، مزایای استفاده از هستهٔ شیبدار در سدهای خاکی را می‌توان به‌شرح زیر برشمرد:

I- در هنگام اجرای عملیات خاکی می‌توان ابتدا پوستهٔ پایین‌دست را اجرا و سپس هسته را روی آن خاک‌کوبی کرد. این امر در مناطقی که دارای فصل خشک کوتاهی برای اجرای عملیات خاکی هسته می‌باشند، مزیت قابل توجهی به‌شمار می‌رود.

II- در حین اجرای پوستهٔ پایین‌دست، همزمان می‌توان عملیات تزریق زیر هسته را نیز انجام داد.

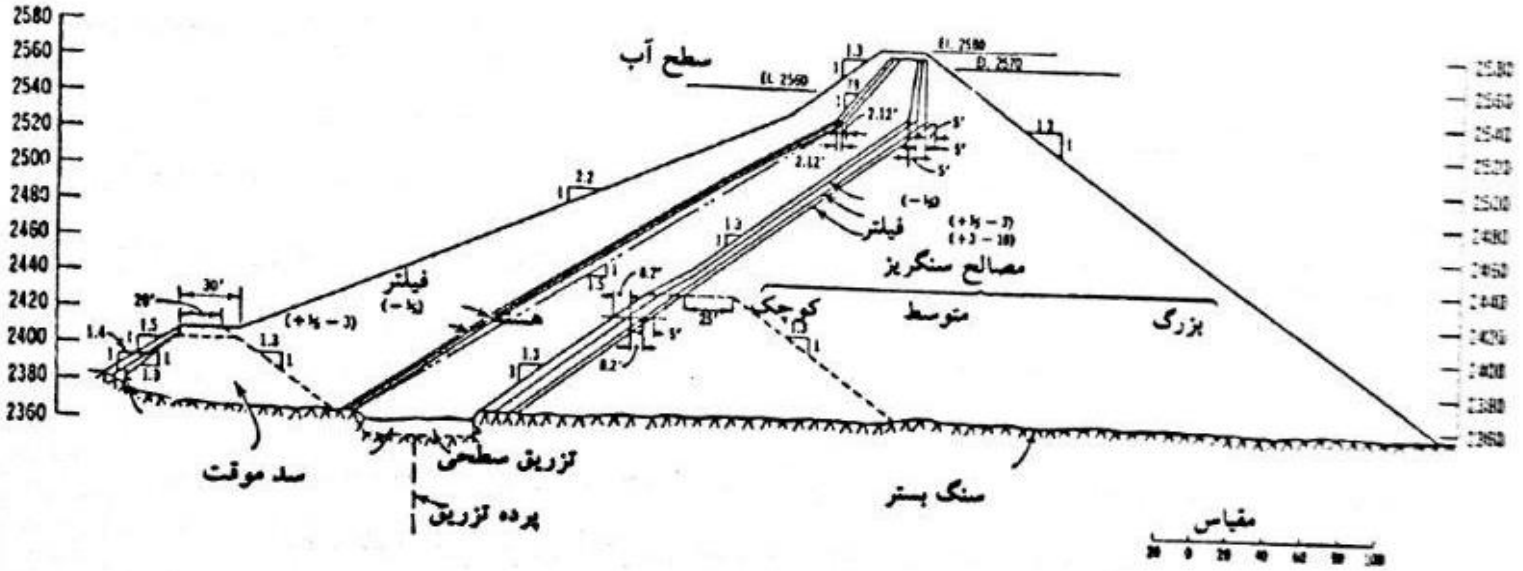
III- این نوع هسته نسبت به ترک‌خوردگی ناشی از اختلاف نشست بین قسمت‌های مختلف سد، کمتر حساس بوده و احتمال ایجاد پدیدهٔ طاق‌زنی در آن کمتر است.

به‌منظور تعیین ضخامت بهینه برای هسته و نیز تعیین موقعیت استقرار آن، لازم است عوامل زیر مورد توجه قرارگیرد:

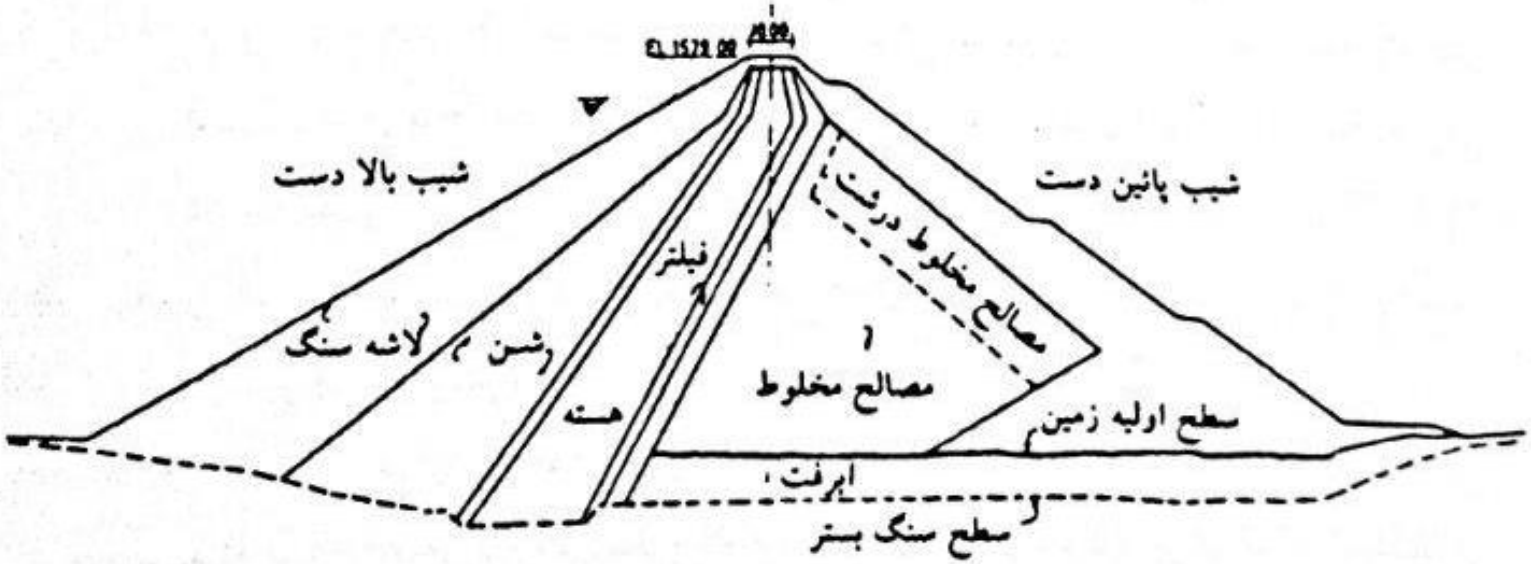
- هزینهٔ واحد نسبی عملیات خاکی هریک از مصالح رسی و مصالح درشت دانهٔ نفوذپذیر.
- حجم بدنهٔ سد - بجز در شرایطی که مصالح هسته از نفوذپذیری نسبتاً بیشتری برخوردار است، در سایر موارد حداقل حجم بدنه وقتی حاصل می‌شود که ابعاد هسته حداقل باشد.

- شرایط اقلیمی - در شرایط اقلیمی مرطوب و نیز یخبندان، اجرای عملیات خاکی با مصالح رسی تقریباً غیرممکن است، درحالی‌که اجرای عملیات با مصالح درشت‌دانه و مصالح سنگی، در تمام شرایط اقلیمی، مشروط بر اینکه جاده‌های حمل و نقل مصالح قابل استفاده نگاه‌داشته شوند، امکان‌پذیر است.

شکل ۲-۵ مقطع تیپ یک سد خاکی غیرهمگن با هستهٔ شیبدار و شکل ۲-۶ مقطع عرضی سد خاکی قشلاق (ایران) راکه با هستهٔ شیبدار طراحی و اجرا شده است، نشان می‌دهد [۱۹].



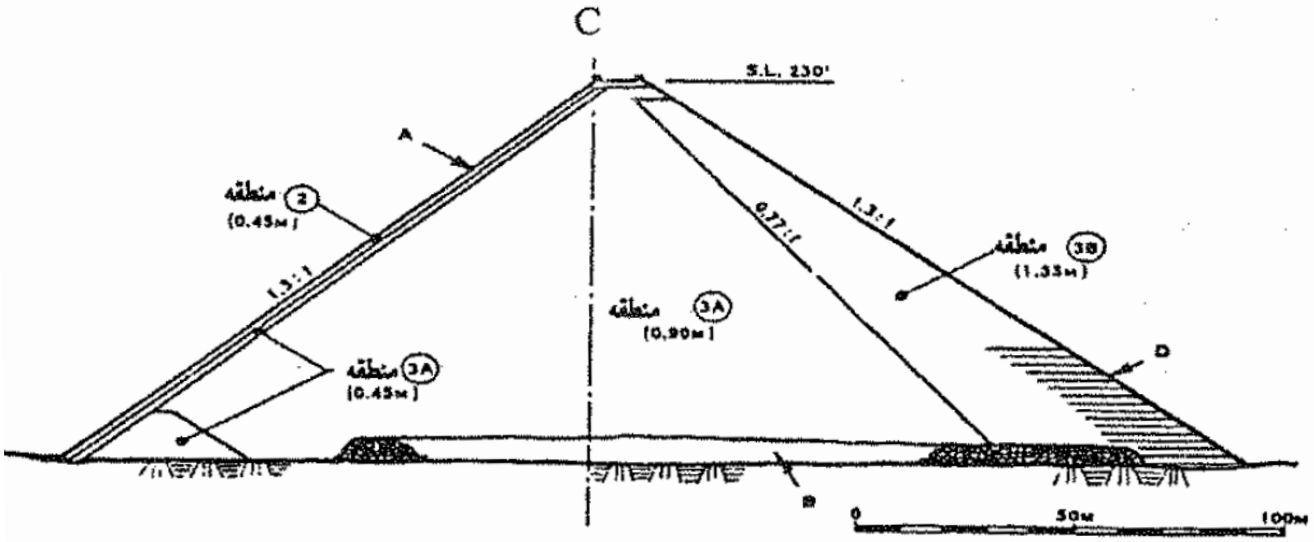
شکل ۲-۵- مقطع تیپ یک سد خاکی غیر همگن با هستهٔ شیبدار



شکل ۲-۶- مقطع عرضی سد خاکی تشلاق با هستهٔ شیبدار

- پی‌های تحتانی و جانبی سد از جنس سنگ مقاوم‌اند
- خاک غیرقابل‌نفوذ مرغوب در دسترس نیست
- استفاده از سایر روشهای حفاظت شیب در مقابل امواج گران است
- منطقه دارای فصل مرطوب و بارندگی‌های خیلی طولانی است
- عملیات تزریق بسیار وسیع و گسترده است. در این صورت با استفاده از سد خاکی غشایی (غشا در بالادست)، می‌توان در حین انجام عملیات اجرایی بدنهٔ سد، عملیات تزریق زیر غشا را در امتداد پاشنهٔ بالادست سد به انجام رساند.

شایان ذکر است که یکی از انواع مهم سدهای غشایی، سدهای سنگریز با رویهٔ بتنی است که به‌علت اهمیت و وسعت کاربرد این نوع سد در سطح جهانی، در فصل هفدهم به‌طور جداگانه و مفصل مورد بحث قرار خواهد گرفت. شکل ۲-۷ مقطع تیپ یک سد خاکی غشایی را نشان می‌دهد.



منطقه 2 - مصالح سنگریز با دانه‌بندی گسترده با حداکثر اندازه ۲۲۵ میلی‌متر

منطقه 3A - مصالح سنگریز مرغوب با حداکثر اندازه ۶۰۰ میلی‌متر

منطقه 3B - مشابه منطقهٔ 3A با حداکثر اندازه ۹۱۴ میلی‌متر

A - غشای بتن مسلح

B - شن رودخانه

C - محور سد

D - منطقهٔ حفاظت‌شده با شبکهٔ میلگرد